

Modificações na oferta de serviços ecossistêmicos em função de cenários de composição da arborização de calçadas

Changes in the provision of ecosystem services based on sidewalk tree-composition scenarios

Beatriz Lima Francisco¹; Rogério Bobrowski²; Sidnei Antonio Crovador Junior³; Gabriel Alves Santos⁴; Jonathan Matheus dos Santos⁴; Maria Eduarda Chami⁵

¹Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. E-mail: bialimaf12@gmail.com

²Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. Orcid: 0000-0003-4868-3376. E-mail: rogerio@unicentro.br

³Doutorando em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. Orcid: 0000-0002-2719-4832. E-mail: junior.crovador@hotmail.com

⁴Mestrando em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. Orcid: 0000-0002-8342-9229. E-mail: gasantosflorestal@gmail.com;

Orcid: 0000-0001-6104-7177. E-mail: jonathanmagwer@gmail.com

⁵Mestranda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. E-mail: chamiarquitetura@gmail.com

RESUMO: As cidades têm apresentado problemas de ordem ambiental e social em função do processo de expansão urbana, planejado ou não. Entretanto, inúmeras soluções ambientais têm sido apresentadas, e dentre elas, a arborização de calçadas. O objetivo desta pesquisa foi testar a estimativa de serviços ecossistêmicos em diferentes cenários de composição da arborização de calçadas nas cidades de Irati e Curitiba, no estado do Paraná. Para isso, foram selecionados 10 segmentos de ruas em bairros amostrados em inventários realizados nas cidades. Em cada segmento de rua coletou-se informações sobre comprimento das calçadas, largura das guias rebaixadas e número de postes. A partir de recomendações de segurança para estas estruturas urbanas, determinou-se o número de árvores que caberia em cada segmento e cada bairro amostrado. A dimensão das árvores (diâmetro à altura do peito – DAP, altura total e diâmetro de copa) foi projetada para o 55º ano pós plantio, partindo-se de dimensões mínimas das mudas de espécies de pequeno, médio e grande porte, para estimativas de serviços ecossistêmicos no *software i-Tree Eco*. Houve diferença significativa entre os cenários de composição florística ($p < 0,05$) para todos os serviços ecossistêmicos, nas duas cidades. A composição com espécie de grande porte demonstrou maior capacidade de oferta de serviços ecossistêmicos, com maior valoração destes (em reais), apesar do menor número de árvores cabíveis nos segmentos de rua avaliados. Os cenários elaborados demonstraram que há potencial para incrementar a quantidade de árvores plantadas e que se pode optar por composições que possam maximizar a oferta de serviços ecossistêmicos e os valores monetários das árvores.

Palavras-chave: Árvores urbanas; Benefícios ambientais; Floresta urbana.

ABSTRACT: *Cities have been experiencing environmental and social issues due to urban expansion processes, be them planned or not. However, several environmental solutions have been proposed and sidewalk tree planting stands out among them. The aim of the current research is to assess the process to estimate ecosystem services under different sidewalk tree composition scenarios in Irati and Curitiba cities, Paraná State. To do so, 10 street segments from neighborhoods sampled in city-wide inventories were selected. Information about sidewalk length, curb ramps' width, and number of utility poles was collected for each street segment. The number of trees to be fit in each segment and sampled neighborhood was determined based on safety recommendations for these urban structures. Tree dimensions (Diameter at Breast Height - DBH, total height and crown diameter) were projected for the 55th year post-planting, based on using minimum dimensions of seedlings from small, medium, and large-sized species. It was done to estimate ecosystem services in i-Tree Eco software. Significant differences among floristic composition scenarios ($p < 0.05$) were observed for all ecosystem services in both cities. Compositions featuring large-sized species have show higher ability to provide ecosystem services, as well as higher monetary valuation, despite fitting a smaller number of trees in the assessed street segments. The herein formulated scenarios have shown the potential to increase the number of planted trees and to select compositions capable of maximizing ecosystem services' provision and trees' monetary value.*

Keywords: *Urban trees; Environmental benefits; Urban Forest.*

INTRODUÇÃO

Com a crescente urbanização global e as inúmeras transformações do uso da terra, impactos significativos podem ser observados no ambiente das cidades. Muitas vezes, essa expansão ocorre de forma desordenada e sem um planejamento adequado, resultando em uma série de conflitos sociais, econômicos e ambientais. O crescimento não planejado também pode acarretar problemas de infraestrutura, bem como tornar os centros urbanos mais vulneráveis a desastres naturais. Deste modo, a falta de um planejamento adequado é um dos principais fatores que contribuem para a degradação do cenário urbano e para a crescente perda de qualidade de vida dos habitantes (YU; YANXU; BOJIE, 2019; BASU; DAS; DAS; PEREIRA, 2023; CALDERÓN-ARGELICH; ANGUELOVSKI; CONNOLLY; BARÓ, 2023).

Assim, uma das formas visíveis para mitigar os efeitos negativos da expansão urbana é promover o plantio de árvores, as quais são um componente importante para a biodiversidade e a manutenção da qualidade de vida (ANANYEVA; EMMANUEL, 2023). As árvores, ao adicionarem diferentes tipos de linhas, texturas e cores, uniformizam a paisagem composta por elementos com diferentes tamanhos e trazem dinamismo e movimento, qualificando e valorizando o ambiente ao torná-lo mais atraente (BOBROWSKI, 2015). Portanto, diante da necessidade de reestruturar as cidades, incluindo a presença da vegetação, também se deve compreender a espacialização, uma vez que as funções ecológicas, sociais e estéticas da paisagem sofrem influência da distribuição arbórea (GRISE; BIONDI; ARAKI, 2016; SILVA; BIONDI, 2013; SILVA; DE CASTRO FONTES, 2018).

Outro fator relevante em relação à presença de vegetação nas urbes, para além da qualificação estética, é que a floresta urbana proporciona uma série de benefícios por meio da prestação de serviços ecossistêmicos, como regulação microclimática, redução da poluição do ar e do escoamento de águas pluviais, favorecimento de atividades físicas, além de ter grande efeito psicossocial sobre a população. Deste modo, a composição das espécies arbóreas apresenta relação direta com a quantidade e qualidade de serviços prestados (MULLANEY; LUCKE; TRUEMAN, 2015; GERSTENBERG; HOFMANN, 2016; SELMI; WEBER; RIVIÈRE; BLOND et al, 2016; LI; WANG, 2021; CIMBUROVA; PONT, 2021).

Diante disso, à medida que as cidades enfrentam desafios emergentes, como eventos climáticos extremos e padrões de desenvolvimento em constante mudança, a criação de cenários para compreender os benefícios da vegetação urbana torna-se peça fundamental para a adaptação e resiliência urbana. Isto pode se constituir em ferramenta útil ao planejamento por permitir desenvolver estratégias que sejam flexíveis e capazes de responder efetivamente a mudanças inesperadas, possibilitando que os planejadores e gestores avaliem diferentes abordagens e escolham aquelas que melhor atendam às necessidades da comunidade (HILDE; PATERSON, 2014; ZHANG; HUANG; HE; YIN et al., 2019; LUMENG; JIANGUO, 2022).

Da mesma forma, a integração de árvores na criação de cenários inteligentes representa abordagem fundamental para enfrentar os desafios complexos que as cidades modernas enfrentam (YU; YANXU; BOJIE, 2019). Gerenciar árvores urbanas de forma estratégica, como parte do planejamento urbano, assegura o fornecimento de serviços ecossistêmicos e contribui para a qualidade ambiental e o bem-estar social. Ao priorizar um planejamento urbano sustentável e adaptativo, é possível garantir que o desenvolvimento das cidades seja mais harmonioso, resiliente e benéfico para as

gerações presentes e futuras (LAWRENCE; DE VREESE; JOHNSTON; VAN DEN BOSCH *et al.*, 2013; LIVESLEY; MCPHERSON; CALFAPIETRA, 2016; RICHARDS; EDWARDS, 2017; SCHLAEPFER, M. A.; GUINAUDEAU, B. P.; MARTIN, P.; WYLER, N. *et al.*, 2020).

Entretanto, pesquisas que demonstrem via cenários a importância e a contribuição das árvores urbanas, em portes diferentes, para a oferta de serviços ecossistêmicos têm sido realizadas em cidades estrangeiras (HILDE; PATERSON, 2014; NYELELE; KROLL; NOWAK, 2019), carecendo as cidades brasileiras de informação básica para pautar pesquisas aplicadas, bem como para direcionar políticas públicas de valorização do verde urbano. Deste modo, esta pesquisa teve como objetivo demonstrar a influência das variações da composição arbórea das calçadas sobre a provisão de serviços ecossistêmicos em bairros das cidades de Curitiba e Irati, no Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Para esta pesquisa foram utilizadas informações da arborização de calçadas das cidades de Irati e Curitiba, Paraná, obtidas por amostragem em inventários florestais realizados respectivamente nos anos 2019 e 2010, com base de dados disponível no Laboratório de Silvicultura Urbana, Departamento de Engenharia Florestal, Unicentro. Ambas as cidades estão inseridas no ecossistema da Floresta Ombrófila Mista, mas diferem em área territorial urbana, planejamento urbanístico e políticas ambientais relacionadas ao verde urbano.

Dos dados provenientes destes inventários constam informações sobre a espécie, diâmetro à altura do peito – DAP, altura total, diâmetro de copa e condição da árvore (classes de condição geral), além de informações sobre a estrutura urbana como a largura da calçada e o comprimento da rua. Entretanto, apenas as informações sobre a estrutura urbana foram utilizadas para pautar a elaboração de cenários de composição da arborização de calçadas.

Como as cidades foram amostradas utilizando-se unidades amostrais com forma, área e alocação distintas, contemplando, por conta disso, ruas inteiras ou parte delas, foram selecionados dez segmentos de rua inteiros, por bairro amostrado, por cidade. Cada segmento de rua, com área variável, corresponde a uma parte de uma rua, num espaço entre outras duas ruas transversais, o que contempla a pista de rolagem e duas calçadas, uma de cada lado da rua. Para a cidade de Irati foram selecionados 10 segmentos de rua em 19 bairros e para a cidade de Curitiba foram selecionados 10 segmentos de rua em 15 bairros. Adotou-se esse procedimento para possibilitar a repetição do planejamento de composição elaborado.

Para cada área de estudo, a partir das informações de cada segmento de rua, foram elaborados seis cenários de composição da arborização de calçadas, na idade de 55 anos pós plantio. Os cenários de composição foram: Cenário 1, composição com a espécie de pequeno porte *Lagerstroemia indica* L., comumente plantada nestas cidades; Cenário 2, composição com a espécie de médio porte *Handroanthus albus* (Cham.) Mattos, comumente encontrada nestas cidades; Cenário 3, composição com a espécie de grande porte *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan; Cenário 4, composição com 50% espécie de pequeno porte (lado da rua com faixa) e 50% de médio porte (lado da rua sem faixa); Cenário 5, composição com 50% espécie de pequeno porte (lado da rua com faixa) e 50% de grande porte (lado da rua sem faixa); Cenário 6, composição com 50% espécie de médio porte (lado da rua com faixa) e 50% de grande porte (lado da rua sem

fição). Em cada cenário de composição o espaçamento utilizado foi determinado conforme metodologia proposta por Mata *et al.* (2020).

A quantidade de árvores a caber em cada segmento de rua, nos cenários de composição da arborização, foi estimada a partir do comprimento total da rua, no segmento, subtraindo-se o valor de 5,0 m, de cada esquina, a largura total das guias rebaixadas encontradas (sendo guia rebaixada entendida como uma alteração no perfil transversal da calçada, com rebaixamento do piso para permitir a entrada e saída de veículos, da rua em direção ao imóvel), o somatório da distância de segurança de cada guia rebaixada, conforme porte da espécie a plantar e somatório das distâncias de segurança dos postes, conforme porte da espécie a plantar (COPEL, 2009).

Para estimar o DAP, a altura total e o diâmetro de copa das árvores nos cenários de composição, com cada espécie, aos 55 anos pós plantio, foi adotado o procedimento de estimativa sugerido por Mata *et al.* (2020) e os valores de taxa de crescimento de árvores urbanas, em calçadas, descritos por Bobrowski *et al.* (2020), com a aplicação da taxa de extinção do crescimento das árvores, de acordo com a expectativa de vida das espécies, pois as árvores não tendem a manifestar taxas regulares de crescimento até o final do ciclo de vida (NOWAK; AEVERMAN, 2019).

Para os segmentos de rua selecionados, em cada cidade, foram estimados os serviços ecossistêmicos prestados pelas árvores planejadas nos cenários de composição. Os serviços ecossistêmicos estimados foram: estoque de carbono (ton), sequestro de carbono ($\text{ton}\cdot\text{ano}^{-1}$), escoamento superficial evitado ($\text{m}^3\cdot\text{ano}^{-1}$) e retenção de poluentes atmosféricos (ton/ano), por meio do *software i-Tree Eco* (USDA Forest Service). Para as estimativas utilizou-se as variáveis DAP, altura total e diâmetro de copa (conforme cenário de composição) e condição da árvore (considerada excelente para os cenários de composição). Todas as estimativas no *software i-Tree Eco* foram ajustadas para a base de referência de informações microclimáticas e de poluição ambiental cadastrada para a cidade de Curitiba, no ano de 2018, com cotação do dólar igual a R\$ 5,2561.

Com os valores de cada serviço ecossistêmico foi realizada análise de variância não-paramétrica (Teste de Friedman), por cidade, considerando um delineamento em blocos casualizados, com cada bairro como um bloco, para controlar a variabilidade espacial existente, e os tratamentos correspondentes aos cenários de composição elaborados. Utilizou-se o teste não-paramétrico porque os dados não atenderam ao critério de normalidade de distribuição e nem de homoscedasticidade das variâncias dos resíduos. Quando constatada diferença significativa entre tratamentos ($p < 0,05$), as medianas foram comparadas por meio do teste post-hoc Nemenyi-Wilcoxon-Wilcox. Todas as análises estatísticas e gráficas foram realizadas no software R, utilizando-se os pacotes *rstatix*, *PMCMRPlus*, *dplyr* e *ggplot2*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados do comprimento de cada segmento de rua selecionado, descontou-se a largura total das guias rebaixadas, a distância de 5,0 m de cada esquina, a distância de afastamento das guias rebaixadas e a distância de afastamento dos postes (variáveis conforme porte da espécie utilizada), para se obter o total de árvores que caberiam nas amostras selecionadas em uma situação ideal de composição, em Irati e Curitiba (**Tabela 1**).

Tabela 1. Quantidade de árvores cabíveis nos 10 segmentos de rua selecionados conforme porte das espécies, em relação aos cenários de composição florística: pequeno (Peq), médio (Med), grande (Gde), pequeno e médio (P+M), pequeno e grande (P+G) e médio e grande (M+G).

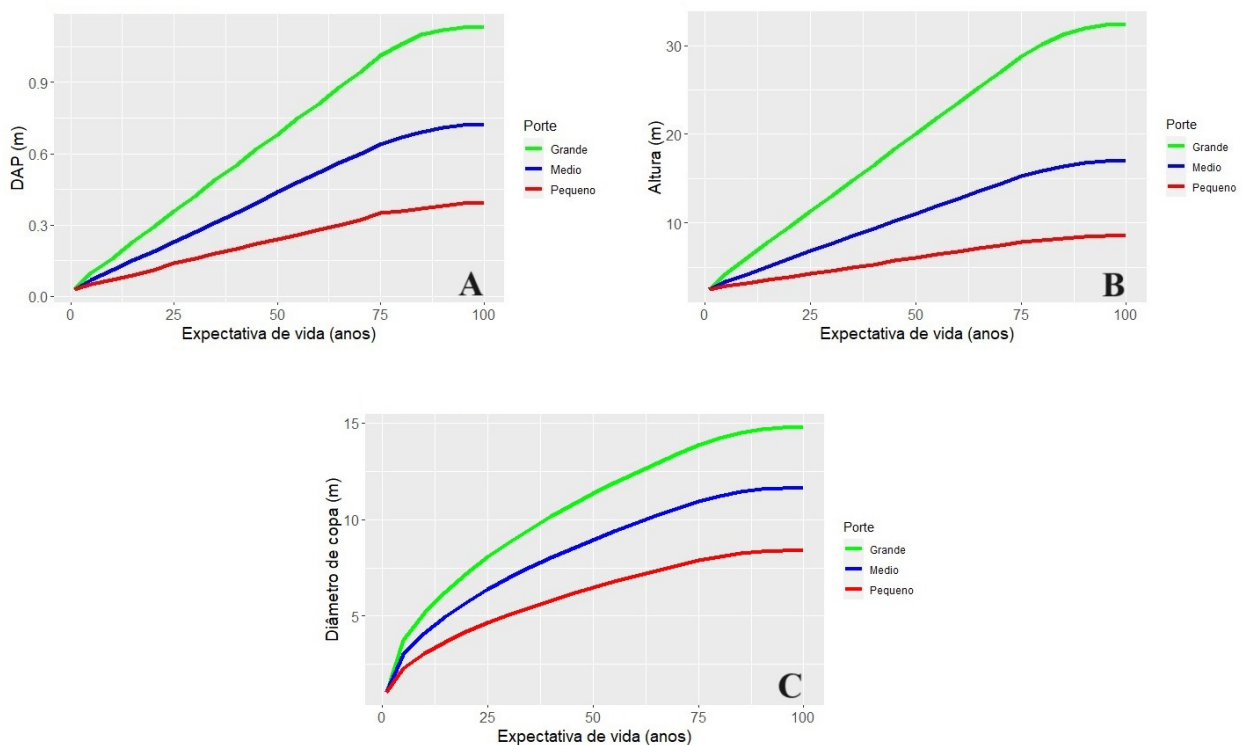
Quantidade de árvores em cada cenário para Irati						
Bairro	Peq	Med	Gde	P+M	P+G	M+G
Riozinho	203	120	75	161	139	97
Centro	627	382	248	504	437	315
São João	930	564	364	747	647	464
Eng. Gutierrez	402	245	159	323	281	202
Jardim Aeroporto	304	182	117	243	210	149
Vila Nova	81	48	30	64	55	39
Nhapindazal	162	97	62	130	112	80
Lagoa	565	342	220	453	393	281
Canisianas	261	157	101	209	181	129
Camacua	205	124	80	165	143	102
DER	296	181	117	238	207	149
Jardim Virginia	237	143	92	190	165	118
Jardim Califórnia	421	257	167	339	294	212
Colina	229	137	88	183	159	113
Alto da Glória	415	253	164	334	290	208
Stroparo	394	239	155	316	274	197
Rio Bonito	784	476	307	630	546	392
Alto da Lagoa	456	278	181	367	318	229
Fosforo	415	252	163	334	289	208
Quantidade de árvores em cada cenário para Curitiba						
Bairro	Peq	Med	Gde	P+M	P+G	M+G
Água Verde	314	177	105	246	210	141
Alto da XV	383	208	118	296	251	163
Bacacheri 1	340	189	111	265	226	150
Bacacheri 2	318	184	113	251	216	149
Bacacheri 3	287	166	102	227	195	134
Bigorriho	287	157	89	222	188	123
Boqueirão	370	211	127	291	249	169
Centro	401	241	154	321	278	198
Cristo Rei	374	214	130	294	252	172
Jardim Social	368	215	133	292	251	174
Mercês	378	201	123	290	251	162
Portão	346	193	114	270	230	154
Rebouças 1	308	171	99	240	204	135
Rebouças 2	365	208	125	287	245	167
Seminário	450	258	157	354	304	208

Para os dados de cada cidade, a variação observada em cada tipo de porte de espécie selecionada deu-se em função do número de restrições encontradas nos segmentos selecionados: quantidade de postes e quantidade e largura das guias rebaixadas, além do comprimento do segmento, que era variável e não padronizado, entre os bairros. Da mesma forma, a variação na quantidade de árvores entre os cenários

de composição deu-se em função da variação das distâncias de proteção, conforme porte da espécie selecionada.

O planejamento da projeção de crescimento das árvores das espécies de pequeno porte *L. indica*, de médio porte *H. albus* e de grande porte *P. rigida* foi realizado para um limite hipotético de expectativa de vida das árvores em 100 anos (**Figura 1**), com declínio acentuado da taxa de crescimento a partir do 75º ano (NOWAK; AEVERMAN, 2019), por não haver informações disponíveis na literatura a respeito do assunto, seja para condições naturais de crescimento ou para condições de estresse urbano.

Figura 1. Curvas de crescimento projetadas para as variáveis DAP (A), altura total (B) e diâmetro de copa (C) para as espécies de pequeno porte *L. indica*, de médio porte *H. albus* e de grande porte *P. rigida*.

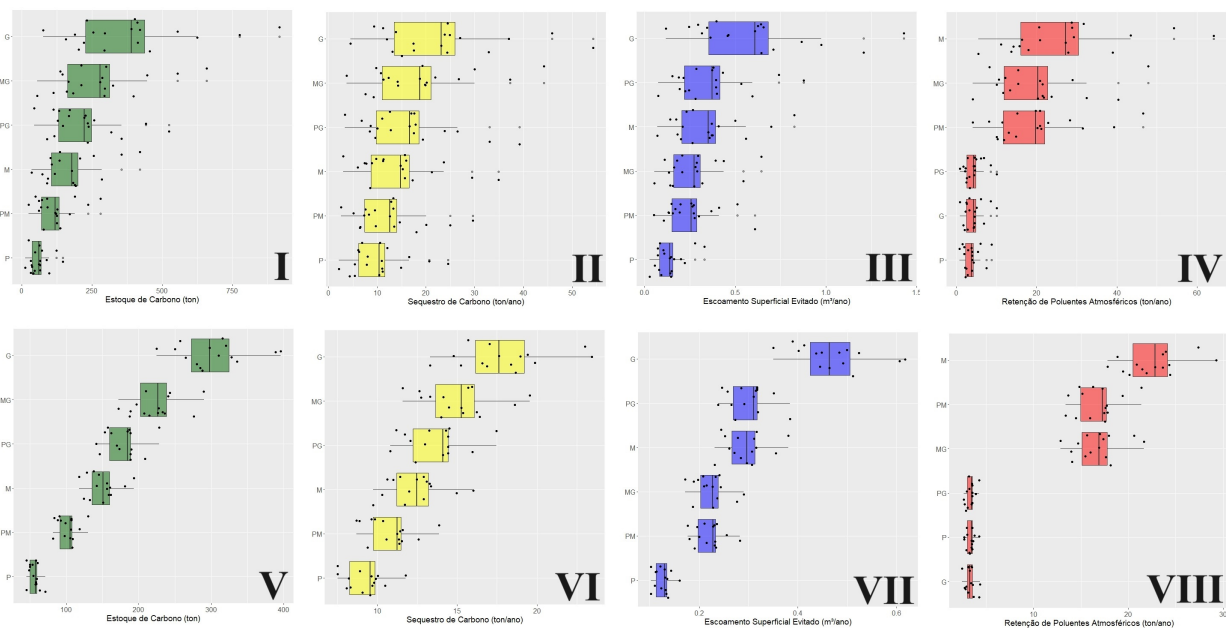


Para a elaboração dos cenários de composição florística, utilizou-se os resultados das projeções de crescimento das árvores de pequeno, médio e grande porte aos 55 anos de idade. Este momento de projeção de crescimento para os cenários de composição foi determinado empiricamente, por não haver registros da expectativa de vida máxima das árvores na arborização das cidades utilizadas como modelo nesta pesquisa. Para a variável DAP os valores obtidos foram 0,26 m, 0,48 m e 0,75 m, para as espécies *L. indica*, *H. albus* e *P. rigida*, respectivamente. Para a variável altura total os valores obtidos foram 6,35 m, 11,85 m e 21,75 m. Para a variável diâmetro de copa os valores obtidos foram 6,78 m, 9,38 m e 11,88 m. Estes valores assemelham-se aos valores de dimensão máxima das árvores das espécies, indicadas em literatura (LORENZI, 2000; BIONDI; ALTHAUS, 2005; SAUERESSIG, 2014).

Os resultados das estimativas de serviços ecossistêmicos para a quantidade de árvores cabíveis nas calçadas dos segmentos de rua amostradas (**Tabela 1**), demonstram que a composição florística com árvores da espécie de grande porte (*P. rigida*) tende a

fornecer a maior quantidade de serviços para ambas as cidades (**Figura 2**), apesar da menor quantidade de árvores presentes nas composições (**Tabela 1**), 38% a menos em Irati e 34% a menos em Curitiba, em relação à composição com espécie de pequeno porte. Entre os cenários de composição propostos, constatou-se haver diferença significativa entre eles ($p < 0,05$) em todos os serviços ecossistêmicos avaliados (**Tabela 2**).

Figura 2. Amplitude de variação dos serviços ecossistêmicos de Estoque e Sequestro de Carbono e Escoamento superficial evitado e retenção de poluentes atmosféricos estimados para a cidade de Irati (I, II, III e IV) e Curitiba (V, VI, VII e VIII), para seis cenários de composição florística: somente espécie de pequeno porte, *Largestroemia indica* (P); somente espécie de médio porte, *Handroanthus albus* (M); somente espécie de grande porte, *Parapiptadenia rigida* (G); composição com espécies de pequeno e médio porte (PM); composição com espécies de pequeno e grande porte (PG); composição com espécies de médio e grande porte (MG).



Quanto aos serviços ecossistêmicos de estoque e de sequestro de carbono, os cenários planejados não diferiram significativamente ($p > 0,05$) do cenário em que se utilizou apenas a espécie de médio porte, tanto para a cidade de Irati quanto Curitiba. As estimativas de serviços ecossistêmicos para o cenário de composição em que se utilizou espécies de pequeno e grande porte juntas, não diferiu significativamente ($p > 0,05$) do cenário com espécie de grande porte (**Tabela 2**). Apesar de ser uma composição recomendada por concessionárias de energia elétrica (COPEL, 2009), para se utilizar espécie de pequeno porte sob rede de transmissão e de grande porte na outra calçada, sem rede, as espécies de pequeno e médio porte tem sido aquelas que mais sofrem com podas frequentes e intensas por parte das concessionárias (BOBROWSKI; BIONDI, 2012), por não conseguirem ultrapassar a linha de alta tensão que fica, em geral, a 10,0 m de altura.

O padrão diferente observado para o serviço ecossistêmico retenção de poluentes atmosféricos, com os maiores valores observados para a espécie de médio porte, pode estar relacionado a falha interna do modelo de estimativa no *software i-Tree Eco*, pois a espécie utilizada (*H. albus*), apesar de possuir folha composta com folíolos

expressivamente maiores que os da espécie de grande porte (*P. rigida*), apresenta copa com diâmetro médio expressivamente menor, ou seja, menor volume potencial de copa para a retenção de poluentes atmosféricos. Entretanto, Wu *et al.* (2019) afirmam que as estimativas de retenção de poluentes atmosféricos no *software i-Tree Eco*, como o PM_{2,5}, dependem essencialmente dos valores do índice de área foliar (IAF) da espécie.

Apesar de não representar uma situação real de composição da arborização de calçadas, onde não ocorre um plantio uniforme de mesma espécie e todas as árvores com mesma dimensão, este tipo de planejamento auxilia a compreensão do que seria possível obter com um plantio tecnicamente conduzido objetivando-se maximizar os serviços ecossistêmicos prestados.

Tabela 2. Probabilidades de diferença entre as medianas dos valores dos serviços ecossistêmicos comparados pelo teste post-hoc de Nemenyi-Wilcoxon-Wilcox, para os dados projetados.

Comparações para Irati										
	Estoque de Carbono					Sequestro de Carbono				
	G	M	MG	P	PG	G	M	MG	P	PG
M	1,1 ⁻⁵					1,1 ⁻⁵				
MG	0,57	0,01				0,57	0,01			
P	7,1 ⁻¹⁴	0,01	6,6 ⁻¹⁰			7,1 ⁻¹⁴	0,01	6,6 ⁻¹⁰		
PG	0,01	0,57	0,57	1,1 ⁻⁵		0,01	0,57	0,57	1,1 ⁻⁵	
PM	6,6 ⁻¹⁰	0,57	1,1 ⁻⁵	0,57	0,01	6,6 ⁻¹⁰	0,57	1,1 ⁻⁵	0,57	0,01
Comparações para Curitiba										
	Estoque de Carbono					Sequestro de Carbono				
	G	M	MG	P	PG	G	M	MG	P	PG
M	0,01					1,6 ⁻⁷				
MG	1,1 ⁻⁵	0,57				9,4 ⁻⁴	0,51			
P	7,1 ⁻¹⁴	1,1 ⁻⁵	0,01			0,12	7,1 ⁻¹⁴	1,2 ⁻⁹		
PG	0,57	0,57	0,01	6,6 ⁻¹⁰		1,00	9,4 ⁻⁸	6,5 ⁻⁴	0,15	
PM	6,6 ⁻¹⁰	0,01	0,57	0,57	1,1 ⁻⁵	0,12	0,02	0,68	7,3 ⁻⁶	0,09
Comparações para Curitiba (cont.)										
	Estoque de Carbono					Sequestro de Carbono				
	G	M	MG	P	PG	G	M	MG	P	PG
M	1,6 ⁻⁴					1,6 ⁻⁴				
MG	0,69	0,04				0,69	0,04			
P	3,8 ⁻¹²	0,04	7,1 ⁻⁸			3,8 ⁻¹²	0,04	7,1 ⁻⁸		
PG	0,04	0,69	0,69	1,6 ⁻⁴		0,04	0,69	0,69	1,6 ⁻⁴	
PM	7,1 ⁻⁸	0,69	1,6 ⁻⁴	0,69	0,04	7,1 ⁻⁸	0,69	1,6 ⁻⁴	0,69	0,04
Comparações para Curitiba (cont.)										
	Estoque de Carbono					Sequestro de Carbono				
	G	M	MG	P	PG	G	M	MG	P	PG
M	0,05					1,3 ⁻⁷				
MG	9,6 ⁻⁶	0,26				4,1 ⁻³	0,26			
P	3,8 ⁻¹²	1,0 ⁻⁴	0,18			1,00	3,9 ⁻⁸	2,0 ⁻³		
PG	0,62	0,80	8,4 ⁻³	1,3 ⁻⁷		1,00	7,1 ⁻⁸	2,9 ⁻³	1,00	
PM	2,0 ⁻⁶	0,14	0,99	0,31	2,9 ⁻³	5,9 ⁻³	0,22	1,00	2,9 ⁻³	4,1 ⁻³

Os valores monetários dos serviços ecossistêmicos prestados pelas árvores, nos diferentes cenários de composição florística (**Tabela 3**) são influenciados tanto pela

quantidade de árvores quanto pelo porte da espécie escolhida. Estes valores são importantes para demonstrar aos gestores públicos, mas também à população em geral, os benefícios das árvores e seu potencial como patrimônio público que auxilia na promoção da qualidade de vida, e não apenas como custos de implantação e manutenção (CHEN; WANG; NI; ZHANG *et al.*, 2020; PISTÓN; SILVA FILHO; DIAS, 2022; SUCHOCKA; HECIAK; BLASZCZYK; ADAMCZYK *et al.*, 2023).

Tabela 3. Valores dos serviços ecossistêmicos prestados pelas árvores em diferentes cenários de composição florística da arborização de calçadas de segmentos de ruas amostrados em Irati e Curitiba.

Cenários de composição	Número de árvores	Estoque de Carbono (R\$)	Sequestro de Carbono (R\$/ano)	Escoamento evitado (R\$/ano)	Retenção de poluentes (R\$/ano)
Valores dos Serviços Ecossistêmicos para Irati					
Pequeno	7387	1.147.578,99	192.497,36	49.976,42	16.028,31
Médio	4467	3.309.151,46	274.057,89	81.426,58	28.758,17
Grande	2890	7.205.170,19	426.592,78	93.615,24	31.444,48
P+M	5940	2.205.763,16	232.782,24	59.925,58	20.421,64
P+G	5144	4.120.322,14	307.911,48	70.333,48	23.739,56
M+G	3684	5.165.870,71	346.856,30	63.540,83	21.342,76
Valores dos Serviços Ecossistêmicos para Curitiba					
Pequeno	5289	821.652,03	137.825,67	33.473,68	11.354,47
Médio	2993	2.217.242,79	183.625,54	54.730,43	19.330,68
Grande	1800	4.487.647,49	265.697,82	59.860,96	20.225,58
P+M	4148	1.504.346,76	160.376,90	40.975,91	13.899,28
P+G	3552	2.633.775,63	201.571,97	46.849,42	15.851,57
M+G	2406	3.308.098,49	223.276,50	41.630,60	14.065,98

Da mesma forma que para as estimativas da quantidade de serviços ecossistêmicos, os valores monetários destes tendem a ser mais expressivos em composições com espécies de grande porte, mesmo com menor quantidade de árvores. Isso vai de encontro à afirmação de Widney *et al.* (2016) de que os benefícios prestados pelas árvores urbanas podem ser maiores que os custos de implantação e manutenção, ao longo dos anos e que isto precisa ser evidenciado para popularizar o reconhecimento do valor das árvores.

CONCLUSÕES

Apesar de não haver informações básicas em literatura a respeito do crescimento e da expectativa de vida de espécies florestais em condições de plantio em calçadas, as estimativas realizadas mostraram-se coerentes com os dados de dimensão máxima das espécies.

Os cenários elaborados demonstraram que nas cidades avaliadas há potencial para incrementar a quantidade de árvores plantadas e que se pode optar por composições que possam maximizar a oferta de serviços ecossistêmicos e os valores monetários das árvores, demonstrando-as como patrimônios públicos que são investimentos para promover qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

ANANYEVA, O.; EMMANUEL, R. Street trees and urban heat island in Glasgow: mitigation through the 'Avenues Programme'. **Urban Forestry & Urban Greening**, p. 128041, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128041>.

BASU, T.; DAS, A.; DAS, K.; PEREIRA, P. Urban expansion induced loss of natural vegetation cover and ecosystem service values: A scenario-based study in the siliguri municipal corporation (Gateway of North-East India). **Land Use Policy**, v. 132, p. 106838, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106838>

BIONDI, D.; ALTHAUS, M. **Árvores de rua de Curitiba**: cultivo e manejo. Curitiba: FUPEF, 2005.

BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Distribuição e dinâmica da área de copa na arborização de ruas de Curitiba, Paraná, Brasil, no período de 1984-2010. **Árvore**, v. 36, n. 4, p. 625-635, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000400005>

BOBROWSKI, R. A floresta urbana e a arborização de ruas. In: BIONDI, D. **Floresta Urbana**. Curitiba: O Autor, 2015, 202p.

BOBROWSKI, R.; AGUIAR, J. T.; CUCHI, T.; VENDRUSCOLO, E.; CROVADOR JUNIOR, S. A. Incremento diamétrico, hipsométrico e de área de copa de espécies florestais na arborização de calçadas. In: SENHORAS, E. M. (Org.). **A Produção do Conhecimento Interdisciplinar nas Ciências Ambientais 2**. 1ª ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2020, p. 15-26.

CALDERÓN-ARGELICH, A.; ANGUELOVSKI, I.; CONNOLLY, J.J.; BARÓ, F. Greening plans as (re) presentation of the city: Toward an inclusive and gender-sensitive approach to urban greenspaces. **Urban Forestry & Urban Greening**, p. 127984, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127984>

CHEN, S.; WANG, Y; NI, Z.; ZHANG, X.; XIA, B. et al. Benefits of the ecosystem services provided by urban green infrastructures: Differences between perception and measurements. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 54, p. 126774, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126774>

CIMBUROVA, Z.; PONT, M. B. Location matters. A systematic review of spatial contextual factors mediating ecosystem services of urban trees. **Ecosystem Services**, v. 50, p. 101296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101296>

COPEL. Companhia Paranaense de Energia Elétrica. **Arborização de Vias Públicas**: Guia para os Municípios. Curitiba, 2009.

GERSTENBERG, T.; HOFMANN, M. Perception and preference of trees: A psychological contribution to tree species selection in urban areas. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 15, p. 103-111, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.12.004>

GRISE, M. M.; BIONDI, D.; ARAKI, H. A. Paisagem da Floresta Urbana de Curitiba-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 11, n. 3, p. 37-55, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5380/revsbau.v11i3.63423>

HILDE, T.; PATERSON, R. Integrating ecosystem services analysis into scenario planning practice: Accounting for street tree benefits with i-Tree valuation in Central Texas. **Journal of environmental management**, v. 146, p. 524-534, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.039>

LAWRENCE, A., DE VREESE, R., JOHNSTON, M., VAN DEN BOSCH, C. C. K.; SANESI, G. Urban Forest governance: Towards a framework for comparing approaches. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 12, n. 4, p. 464-473, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.05.002>

LI, P.; WANG, Z. Environmental co-benefits of urban greening for mitigating heat and carbon emissions. **Journal of Environmental Management**, v. 293, p. 112963, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112963>

LIVESLEY, S. J., MCPHERSON, E. G., CALFAPIETRA, C. The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. **Journal of environmental quality**, v. 45, n. 1, p. 119-124, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000.

LUMENG, L. I. U.; JIANGUO, W. U. Scenario analysis in urban ecosystem services research: Progress, prospects, and implications for urban planning and management. **Landscape and Urban Planning**, v. 224, p. 104433, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104433>

MATA, J. B.; SANSON, D.; MASTELLA, A. D. F.; BOBROWSKI, R. Composition capacity of sidewalk afforestation using three different sized trees. **Floresta**, v. 50, n. 1, p. 983-990, 2020.

MULLANEY, J.; LUCKE T.; TRUEMAN J. S. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. **Landscape and Urban Planning**, v. 134, p. 157-166, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>

NYELELE, C.; KROLL, C.N.; NOWAK, D.J. Present and future ecosystem services of trees in the Bronx, NY. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 42, p. 10-20, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.018>

NOWAK, D. J.; AEVERMANN, T. Tree compensation rates: compensating for the loss of future tree values. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 41, p. 93-103, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.014>

PISTÓN, N.; SILVA FILHO, D. S. E.; DIAS, A. T. C. Social inequality deeply affects people's perception of ecosystem services and disservices provided by street trees. **Ecosystem Services**, v. 58, p. 101480, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101480>

RICHARDS, D. R.; EDWARDS, P. J. Quantifying Street tree regulating ecosystem services using Google Street View. **Ecological indicators**, v. 77, p. 31-40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.028>

SAUERESSIG, D. **Plantas do Brasil: árvores nativas**. Irati: Editora Plantas do Brasil, 2014.

SCHLAEPFER, M. A.; GUINAUDEAU, B. P.; MARTIN, P.; WYLER, N. et al. Quantifying the contributions of native and non-native trees to a city's biodiversity and ecosystem services. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 56, p. 126861, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126861>

SELMI, W., WEBER, C., RIVIÈRE, E., BLOND, N., MEHDI, L.; NOWAK, D. Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. **Urban forestry & urban greening**, v. 17, p. 192-201, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>

SILVA, R. R. S.; BIONDI, D. Avaliação da preferência paisagística no Jardim Botânico de Curitiba, Paraná, Brasil. **REVSBAU**, v.8, n.1, p.39-53, 2013.

SILVA, M. P., DE CASTRO-FONTES, M. S. G. Parâmetros espaciais e estético-ambientais de avaliação da qualidade da arborização viária. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 6, n. 38, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v6n1.pereirasilva>

SUCHOCKA, M.; HECIAK, J.; BLASZCZYK, M.; ADAMCZYK, J.; GAWORSKI, M.; GAWLOWSKA, A.; et al. Comparison of Ecosystem Services and Replacement Value calculations performed for urban trees. **Ecosystem Services**, v. 63, p. 101553, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101553>

YU, D.; YANXU, L.; BOJIE, F. Urban growth simulation guided by ecological constraints in Beijing city: Methods and implications for spatial planning. **Journal of environmental management**, v. 243, p. 402-410, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.087>

WIDNEY, S.; FISCHER, B. C.; VOGT, J. Tree Mortality Undercuts Ability of Tree-Planting Programs to Provide Benefits: Results of a Three-City Study. **Forests**, v. 7, n. 65, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/f7030065>

WU, J.; WANG, Y.; QIU, S.; PENG, J. Using the modified i-Tree Ecomodel to quantify air pollution removal by urban vegetation. **Science of the Total Environment**, v. 688, p. 673-683, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.437>

ZHANG, D.; HUANG, Q.; HE, C.; YIN, D.; LIU, Z. Planning urban landscape to maintain key ecosystem services in a rapidly urbanizing area: A scenario analysis in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China. **Ecological Indicators**, v. 96, p. 559-571, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.030>

Recebido em: 13/09/2023

Aprovado em: 21/12/2023